SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI EXZENTRISCHER BEWEGUNGSBESTRAHLUNG MIT PHOTONEN VON 42 MeV MIT DEM SIEMENS–BETATRON.

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

DER HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Ursula Wilhelm

Saarbrücken

1972

AUS DEM STRAHLENINSTITUT DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

(Direktor: Prof. Dr. med. F. Sommer)

SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI EXZENTRISCHER BEWEGUNGSBESTRAHLUNG MIT PHOTONEN VON 42 MeV MIT DEM SIEMENS-BETATRON.

I N A U G U R A L D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

1972

vorgelegt von

Ursula W i l h e l m

geb. 13. 1. 1948 in Landau/Pfalz

Dekan: Professor Dr. med. H. Kulenkampff

Referent: Professor Dr. med. F. Sommer

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die mündliche Prüfung wurde am 18.12.1972 abgelegt.

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

I N H A L T S A N G A B E

	Seite
Literaturrückblick	4
Eigene Messungen	17
Beschreibung der Versuchsanordnung	18
Graphische Darstellung der Isodosen	22
Diskussion der Meßergebnisse	31
Zusammenfassung	33
Literaturverzeichnis	34
Danksagung	38
Lebenslauf	39

SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI EXZENTRISCHER BEWEGUNGSBESTRAHLUNG MIT PHOTONEN VON 42 MeV AM SIEMENS-BETATRON

SYSTEMATISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR EXZENTRISCHEN PENDELBESTRAHLUNG MIT PHOTONEN EINER ENERGIE VON 42 MeV AM SIEMENS-BETATRON.

Die Inbetriebnahme des 42 MeV Betatrons der Siemens-Reiniger-Werke eröffnete dem Gebiet der Strahlenheilkunde viele neue therapeutische Möglichkeiten. Als erste in Deutschland wurde eine solche Anlage 1966 in Köln dem klinischen Betrieb übergeben. 42 MeV Betatron-Bestrahlungsgeräte gibt es nun schon in etwa 10 Städten Deutschlands, darunter Düsseldorf, Heidelberg, Hamburg-Eppendorf, Essen, Köln, München, Berlin, Homburg/Saar, Frankfurt, Tübingen.

Mit dem 42 MeV Betatron können ultraharte Röntgenstrahlen von 42 MeV bzw. 25 MeV [+] und schnelle Elektronen in einem Energiebereich zwischen 5 und 42 MeV erzeugt werden. Hiermit bietet sich eine

---

[+] Für die Bestrahlung mit 25 MeV-X wurde ein besonderer Ausgleichskörper eingebaut.

große Modulationsbreite für eine Elektronen- bzw. Photonenbestrahlung an, die für jeden Fall eine größtmögliche Anpassung an die individuellen Gegebenheiten gestattet.

Das Funktionsprinzip des Betatrons sei im folgenden kurz beschrieben (nach BRAUN und PETERSILKA). Das Betatron besteht aus einem Magneten in Form eines Mantelkerntransformators, der mit sinusförmigem Wechselstrom über Primärwicklungen erregt wird. Eine evakuierte Ringröhre dient als Sekundärwicklung und umschließt den Mittelschenkel des Transformators.

Kurz nach dem Nulldurchgang des Magnetfeldes werden in die Ringröhre aus einer Glühkathode über eine Beschleunigungsspannung Elektronen eingeschossen. Sodann werden die Elektronen durch das anwachsende elektrische Wirbelfeld, das den elektrischen Fluß im Mittelschenkel umgibt, auf einer Kreisbahn beschleunigt. Die nötigen Stabilisierungskräfte liefert das die Röhre durchdringende Magnetfeld selbst, das zu dem Beschleunigungsfeld in einem bestimmten Verhältnis stehen muß. Geeignete Störung dieses Verhältnisses kann entweder

den Beschleunigungskreis sprengen und ein Teil der Elektronen verläßt die Röhre durch ein dünnes Metallfolienfenster, oder sie kann den Bahnkreis verengen, wobei die Elektronen auf ein Target auftreffen, wo sie Bremsstrahlen erzeugen.

Der Wunsch, die beiden Strahlenarten der Elektronenschleuder (= Betatron) therapeutisch nutzbar zu machen, liegt nahe, zumal sich hiermit für die Strahlentherapie im Vergleich zu der klassischen Röntgenstrahlung eine neue Situation ergibt. GUND und BERGER beschreiben die günstigere Dosisverteilung auf den Herd und die stärkere Konzentration der Wirkung unter gleichzeitiger Schonung der Umgebung. Diese Wirkung erklären sie mit der physikalischen Eigenschaft der schnellen Elektronen, die in einer um eine Größenordnung kleineren Ionisationsdichte besteht, als die der langsamen Sekundärelektronen, die im Bereich der klassischen Röntgenstrahlung die biologische Wirkung vermitteln.

Ein grundsätzlicher Vorteil der ultraharten Röntgenstrahlen und namentlich der schnellen Elektronen

ist ihre Verwendbarkeit zur Bewegungsbestrahlung (SCHMIDT-HERMES, HEUSS und HOEFFKEN). Die Hochvolt-Rotationsbestrahlung, wie sie auch bezeichnet wird, wirkt besonders im Sinne einer Dosismassierung im Krankheitsherd, während die Haut und die gesunde Umgebung geschont werden, da zudem ein relativ steiler, seitlicher Dosisabfall erfolgt (EBERL, KUTTIG).

Außerdem hat die Bewegungsbestrahlung gegenüber der Stehfeld- und Vielfelderbestrahlung den Vorzug, daß nach einmaliger Aufstellung des Bestrahlungsplanes eine ständige Veränderung des Bestrahlungsfeldes nicht mehr nötig wird. Die Dosisverteilung bei der Bewegungsbestrahlung hängt weitgehend von mehreren Faktoren ab. Es sind dies: Pendelradius, Pendelwinkel, Herdtiefe und Feldausdehnung, hier insbesondere die Feldbreite. KUTTIG kam experimentell zu dem Ergebnis, daß das Dosismaximum in Abhängigkeit von der Feldbreite, dem Pendelwinkel und der Herdtiefe nach der Oberfläche zu wächst, wobei eine große Feldbreite, ein kleiner Pendelwinkel und eine große Herdtiefe eine stärkere Auswanderung nach der

Oberfläche bedingen. HEINZLER und MOHR bestätigten diese Erkenntnisse mit eigenen Messungen. Sie beschrieben ebenfalls den Einfluß der Größe der Pendelwinkel auf die Form der bestrahlten Felder. Bei einem Pendelwinkel von ± 30 Grad ergaben sich Verhältnisse wie bei der Stehfeldbestrahlung, während sich bei größerwerdenden Pendelwinkeln das Feld immer mehr abrundete und sich der Dosisabfall sowohl in der Tiefe als auch zur Seite steiler wurde. Unter diesen Aspekten erachteten die oben genannten Autoren einen Pendelwinkel von wenigstens ± 90 Grad für eine möglichst geringe Oberflächenbelastung am günstigsten.

Die Frage des Zusammenhanges zwischen der Größe des Pendelwinkels, der Lage der Pendelachse und der Lokalisation des Dosismaximums beantworteten die gleichen Autoren dahingehend, daß bei größeren Pendelwinkeln die Pendelachse und das Dosismaximum zusammenfallen.

SPECHTER gibt ebenfalls einen Beitrag zur Frage des optimalen Pendelwinkels bei der Bewegungsbestrahlung:

"Je größer das bei der Einstrahlung zur Verfügung stehende Hautfeld, um so besser ist das Verhältnis Herddosis zur Oberflächendosis". Daraus resultiert das Postulat nach der Verwendung großer Pendelwinkel.

ZUR FRAGE DER DOSISVERTEILUNG

Die biologische Wirkung der verschiedenen Strahlenarten steht in engem Zusammenhang mit der Dosisverteilung. Nach GUND und SCHITTENHELM beruht die biologische Wirkung auf der Ionisation der Atome bzw. Moleküle des bestrahlten Körpers. Dabei geben die Elektronen einen Teil ihrer Energie in Form von Ionisationsarbeit ab und werden dann innerhalb ihrer Reichweite abgebremst. Die Dosisverteilung wird bei einem von außen in den Körper eingeschossenen Elektronenbündel durch Energieverlust und Streuung bestimmt.

Der Dosisverlauf ist von der Dichte und Ordnungszahl des bestrahlten Körpers abhängig. Die Reich-

weite der Elektronen wächst linear mit abnehmender Dichte, da der Energieverlust im Energiebereich bis 15 MeV etwa proportional der Dichte ansteigt. Nach GUND und SCHITTENHELM ist bei Materialien mit größerer Ordnungszahl das Dosismaximum ausgeprägter, da die Elektronen hier bereits dicht hinter der Oberfläche große mittlere Streuwinkel erreichen.

Im folgenden soll etwas näher auf die Streuverhältnisse bei den verschiedenen Strahlenqualitäten, insbesondere aber bei Photonenstrahlung eingegangen werden. In der letzten Zeit wurde von der ICRU im Handbook 89 Methoden zur Messung der Streustrahlung veröffentlicht, die das Verhältnis von durchgelassener Primärstrahlung zu durchgelassener Streustrahlung erfassen sollen. Die hier interessierenden Strahlenarten wurden besonders von JANKER und RENNER untersucht. Die Messungen dieser Autoren ergaben mit zunehmender Energie eine Erhöhung der im Körper auftretenden Streustrahlendosis. Verglichen wurden die Ergebnisse bei Bestrahlung mit dem RT 200 der Firma Chr. Müller, dem Gammatron und Betatron (16 MeV der Firma Siemens-

Reiniger). Alle Meßwerte wurden 1.) auf 100 r im Dosismaximum von 200 KV, Kobalt 60 oder 16 MeV Photonenstrahlung und 2.) auf 100 r Herddosis in einem 5 bzw. 10 cm tief gelegenen Herd im Zentralstrahl bezogen. Neben dem geometrischen Feldrand ergab sich der niedrigste Wert bei der 16 MeV Photonenstrahlung, danach folgte die Kobalt 60-Strahlung. Den höchsten Wert zeigte die 200 KV Röntgenstrahlung. Daraus läßt sich folgern, daß die Feldbegrenzung um so schärfer wird, je energiereicher die Strahlung ist. Wenn man sich jedoch vom Zentralstrahl weiter entfernt, kehren sich die Verhältnisse um. Vom Zentralstrahl weit entfernte Punkte zeigen bei 200 kV Strahlung wesentlich geringere Streudosen als die harte Kobalt 60 und die 16 MeV Photonenstrahlung. Bei dem biologisch wirksamen Streuungsunterschied zwischen den einzelnen Strahlenarten sind zudem noch die Neutronenstrahlungen zu berücksichtigen, die zwar nicht bei Kobalt 60-Zerfall entstehen, jedoch bei 16 MeV Photonen- und Elektronenstrahlung. Die biologische Wirksamkeit ist bei 16 MeV Photonen doppelt so groß, bei 35 MeV um das dreifache erhöht. Diesem ist therapeutisch Rechnung zu

tragen. So wäre bei jungen Patienten mit einem M. Hodgkin an L_7, L_5 zur Schonung der Gonaden die energiereiche Photonenbestrahlung indiziert, da bei Photonenstrahlung die Strahlenbelastung an den Gonaden vergleichsweise sehr viel geringer wäre als eine 200 kV Strahlung. Bei mediastinal lokalisiertem M. Hodgkin läge es demnach umgekehrt. Ähnliche Erfahrungen machten auch KELLER und DEUTLER. Schnelle Elektronen zeigen die schlechteste Feldbegrenzung von allen in der Therapie verwandten Strahlenarten. Die gemessene Streuung entsprach in Abständen von z. B. 50 cm und 100 cm vom Zentralstrahl etwa der des Kobalt 60. Die entstandenen Neutronendosen betrugen dann 10 % der bei der 16 MeV X-Strahlung) festgestellten. Vergleicht man die Streuverhältnisse von schnellen Elektronen mit den, jeweils als Alternative in Frage kommenden 50 kV und 200 kV-Strahlen, so ergibt sich für 50 kV, 200 kV und 16 MeV 8 ein Verhältnis von 1 : 10 : 100.

DER DOSISVERLAUF BEI PENDELBESTRAHLUNG.

Wegen der hohen relativen Herddosis und wegen der scharfen seitlichen Begrenzung des Strahlenkegels, eignet sich die energiereiche Strahlung noch besser als die klassische zur Bewegungsbestrahlung, da man ein scharf begrenztes Teilvolumen des Körpers ohne merkliche Belastung von umliegenden Gewebe und Haut mit hoher Dosis bestrahlen kann (GUND und SCHITTENHELM).

Die ersten Bestrahlungen dieser Art wurden mit van de Graaff-Generatoren bis zu 2 MeV und mit den, hauptsächlich in Amerika hergestellten Linearbeschleunigern, mit Energien bis zu 4 MeV und später bis zu 8 MeV durchgeführt. Auch Kobalt 60 Einheiten können zur Bewegungsbestrahlung eingesetzt werden. Bei Pendelbestrahlung bleibt der Abstand des Herdes von der Oberfläche meist nicht konstant. Somit ist die mittlere Fahrstrahllänge bei der Pendelbestrahlung immer etwas größer als der Fokus-Herd-Abstand, da hier der kleinste Abstand zwischen Haut und Herd gewählt wird. Infolgedessen wird das Verhältnis zwischen Herddosis und der insgesamt im

Körper erzeugten Dosis bei Pendelbestrahlung kleiner als bei Stehfeldbestrahlung. Dieser Verminderung steht jedoch der Vorteil gegenüber, daß sich bei der Pendelbestrahlung ein scharf begrenztes Feld durch steilen, seitlichen Dosisabfall in jeder Körpertiefe mit gleichmäßiger Dosis bestrahlen läßt (GUND und SCHITTENHELM).

Die Darstellung der Isodosen ist zur Aufstellung eines geeigneten Bestrahlungsplanes von außerordentlicher Wichtigkeit. In der Literatur sind Methoden beschrieben, die den Verlauf der Isodosen der Bewegungsbestrahlung aus den Isodosen des Stehfeldes abzuleiten versuchen (EBERL). Dabei wurde das Isodosenbild des Stehfeldes in Primär- und Streustrahlung zerlegt. Um solche Isodosen zu erhalten, wurde zunächst für jeden Punkt des Bestrahlungsfeldes der Wert der Direkt- und der Streustrahlung unter Verwendung der Tiefendosistabellen von GRABE-WIEBE oder JOHNS bestimmt. Diese Tiefendosistabellen enthalten auch die Werte für den Nullstrahl, also für das Feld ohne Dimension und ohne Streuzusatz. Aus ihnen und

der Streustrahlung setzt sich jedes Feld von endlicher Größe zusammen. So konnten die für den Zentralstrahl aus den Tabellen abgelesenen Werte getrennt werden in den Nullstrahl, das ist der Faktor der Direktstrahlung, und in die Streustrahlung. Die gewonnenen Isodosen der Primär- und Streustrahlung für sich allein erlauben eine geometrisch-graphische Entwicklung der Isodosen der Bewegungsbestrahlung.

Außerdem gibt es eine Möglichkeit, die Isodosen photometrisch und mit der Filmschwärzung darzustellen. HEINZLER und MOHR untersuchten die Abhängigkeit der Isodosen von den verschiedenen Feldgrößen an einem körperähnlichen Wasser-Phantom.

Die Messungen ergaben, daß mit der Verschmälerung des Feldes der Dosisanstieg immer steiler wird und sich mehr und mehr in die Nähe der Drehachse verlagert. Entsprechend verhält sich der seitliche Dosisabfall, der um so steiler erfolgt, je kleiner das Bestrahlungsfeld ist. In engerem Zusammenhang mit der hier vorgelegten Arbeit steht

eine Untersuchung zur Bestimmung der Isodosen bei der Pendelbestrahlung mit exzentrisch gelegener Pendelachse bei Anwendung ultraharter Röntgenstrahlung einer 17 MeV Elektronenschleuder von HEINZLER.

Es wurden dabei mit der ultraharten Röntgenstrahlung des Betatrons an einem körperähnlichen, gewebeäquivalenten Wasserphantom die Isodosen exzentrischer Pendelfelder mit verschiedenen Auslenkwinkeln des Zentralstrahls gemessen. Aus den Meßergebnissen ist ersichtlich, daß die Isodosen schalenförmig um die Pendelachse liegen. Nach außen ist der Dosisabfall steil.

Die Pendelbestrahlung mit exzentrisch gelegener Pendelachse, sowie aus der PA ausgelenktem Zentrahlstrahl, wurde von WEITZEL und BECKER wegen der charakteristischen Lage der Isodosen am seitlichen Rand des Phantoms als "Schalenbestrahlung" bezeichnet.

Aus dem Aufbaueffekt und der scharfen Feldbegrenzung ergeben sich für diese Bestrahlungs-

methode wichtige Anwendungsmöglichkeiten. Mit einer solchen Anordnung können, trotz ausreichender Dosismassierung am Herd, sehr strahlenempfindliche Gewebe praktisch ausgespart werden. Als Beispiel für die therapeutische Verwendbarkeit sei die Nachbestrahlung von Nierentumoren, wobei das Rückenmark nicht hoch belastet werden darf, die Bestrahlung des kleinen Beckens nach vorausgegangener Radiumeinlage und die Erfassung seitlich liegender Blasenneoplasmen und Beckenwandinfiltrate erwähnt, die für die Anwendung der exzentrischen Pendelbestrahlung sehr geeignet scheint.

EIGENE MESSUNGEN

Zur Exploration der Lage der Isodosen bei der Photonenbestrahlung mit einer Energie von 42 MeV bei exzentrischer Anordnung der Pendelachse, führten wir an einem ovalen Plexiglas-Wasserphantom[+]

[+] Es handelte sich um das Plexiglas-Wasserphantom der Physikalisch-Technischen Werkstätten, Freiburg im Breisgau, Dr. Pyschlau KG.

folgende systematische Messungen durch: Bei einer Versuchsanordnung, wobei bis auf die Achsfeldgröße alle Werte konstant blieben, wurden an 4 Meßreihen die Isodosenverläufe experimentell untersucht. Die Achsfeldgröße wurde, von 6 cm Breite ausgehend, jeweils um 2 cm bis zu einer Gesamtbreite von 12 cm variiert. Der Pendelwinkel, in Ermangelung der Möglichkeit einer vollkommenen Umpendelung, betrug bei allen Messungen 180 Grad (± 90 Grad beidseits), wobei nach beiden Seiten gependelt wurde. Die Pendelachse befand sich 10 cm unter der Oberfläche und 9 cm lateral der Mittellinie des Phantoms. Der Pendelradius betrug konstant 120 cm.

Im folgenden sei eine Beschreibung des Versuchsaufbaues und der, für den immer gleichen Versuchsablauf bestimmenden Faktoren, gegeben.

Beschreibung der Versuchsanordnung

Alle 4 Meßreihen wurden an dem ovalen Wasserphantom der Firma Dr. Pyschlau KG durchgeführt. Als

Meßkammer diente die Mikrokammer der gleichen Firma. Die Meßergebnisse wurden auf dem Duplex-Dosimeter angezeigt. Bei allen Messungen kamen die gleiche Meßkammer und das gleiche Dosimeter zur Anwendung.

Vor jeder Messung wurde das Phantom mit Hilfe einer Wasserwaage in eine waagerechte Stellung gebracht. Dann erfolgte die Einstellung des Pendelradius auf 120 cm. Die Festlegung der Feldgrenzen geschah durch das Nachzeichnen der durch die Lichtoptik auf der Phantomoberfläche abgebildeten Feldfläche.

Dieses Oberflächenfeld wurde in der Länge und Breite jeweils halbiert und der Mittelpunkt mit einem Kreuz gekennzeichnet. Der Schatten dieses Kreuzes fiel in der Medianlinie direkt auf die Meßkammer, es wurde also in Zentralstrahlebene gemessen. Im Phantom wurde die Meßkammer so in den Lichtstrahl des optischen Pendelachsenanzeigers gerückt, daß sich ihr Schatten auf das Raster des Phantoms projizierte. Auf dieser Rasterseite befand sich ein transparentes Millimeterpapier,

worauf nach jeder Messung im Abstand von 1 cm die Anzahl der Duplexsprünge verzeichnet wurden. Eine Verkleinerung des Meßabstandes unter 1 cm war wegen der Größe der Meßkammer (0,7 cm) nicht möglich. Nach Durchmessung jeder Reihe erfolgte eine Überprüfung der Ausgangslage der Mikrokammer mit Hilfe der Schattenprojektion des Feldmittelpunktkreuzes.

Alle Messungen wurden mit dem Ausgleichkörper 2 durchgeführt. Die Monitorvorwahl betrug konstant 280 Sprünge, wobei auf je 180° Pendelung etwa 140 Sprünge fielen. Es wurden stets vollständige Pendelbewegungen ausgeführt.

Die Achsfeldgrößen wurden 4mal variiert, wobei die Länge mit 12 cm immer konstant blieb und die Breite sich bei jeder neuen Meßreihe um 2 cm im Bereich von 6, 8, 10, 12 cm vergrößerte. Schematisch dargestellt ergibt sich folgender Bestrahlungsmodus:

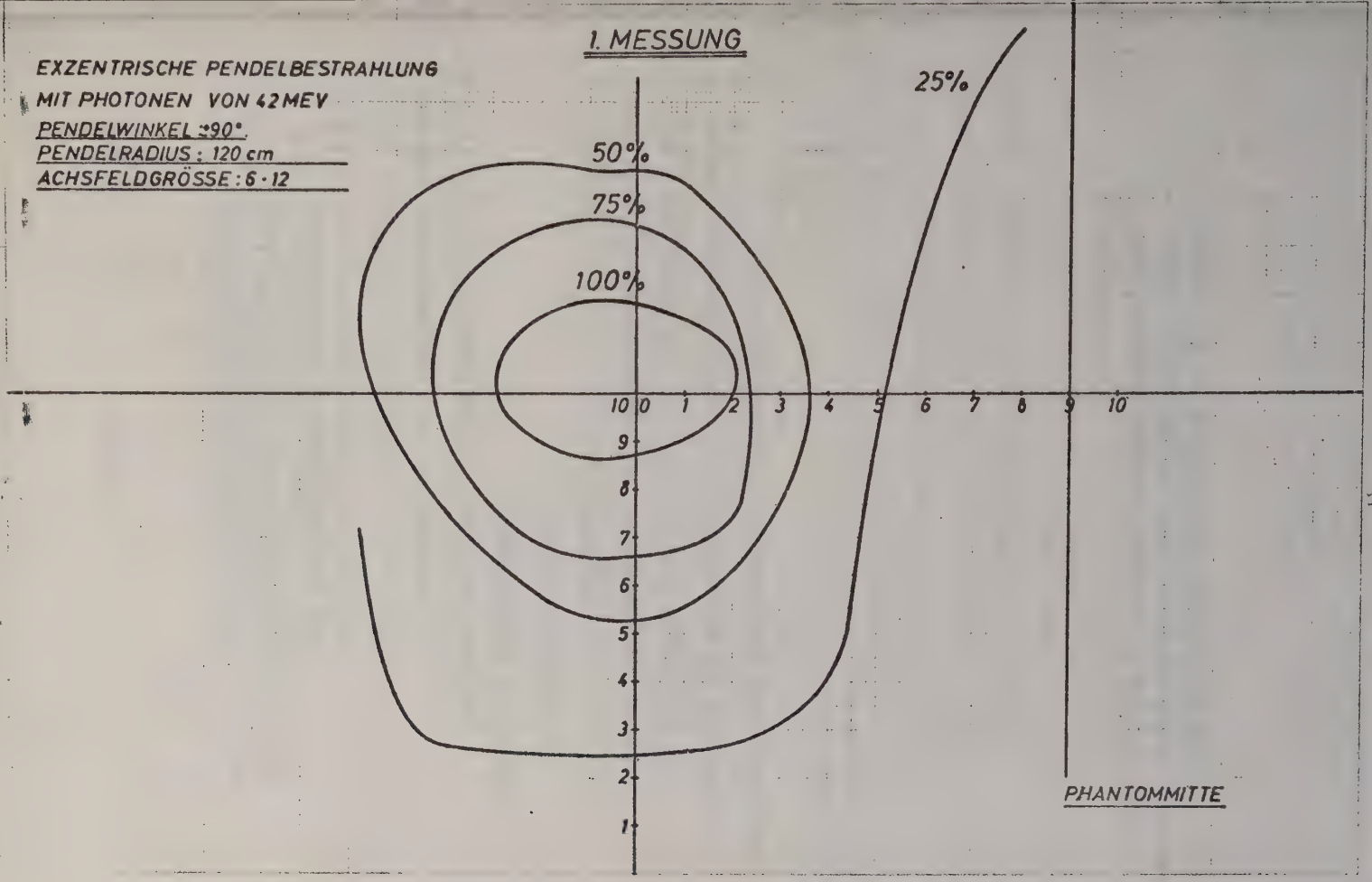
Messungen am ovalen Wasserphantom [+] bei Photonen-Pendelbestrahlung einer Energie von 42 MeV unter Verwendung des Ausgleichskörpers 2.

1) Pendelradius:	120 cm
2) Pendelachslage:	in 10 cm Tiefe von der Oberfläche, 9 cm lateral der Mittellinie des Phantoms
3) Achsfeldgröße:	6 x 12 cm, 8 x 12 cm, 10 x 12 cm, 12 x 12 cm
4) Pendelwinkel:	180 Grad ($\pm$ 90° beidseits).
Monitorvorwahl	280 Sprünge/2 Pendelbewegungen

[+] Die Phantomabmessungen betrugen: 36 cm in der breitesten Ausdehnung bei einer Tiefe von 20 cm. Die Form entspricht in anatomischer Sicht dem Abdomen.

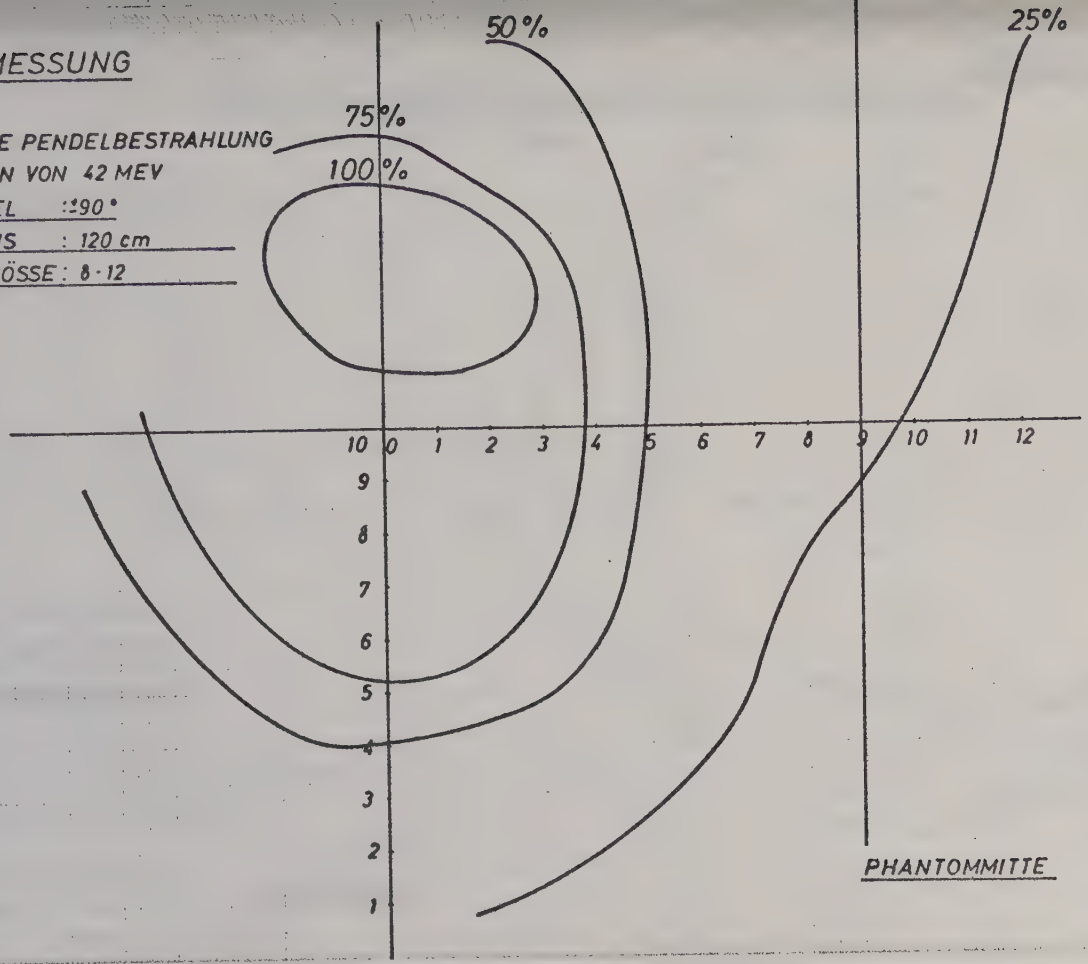
1. MESSUNG

EXZENTRISCHE PENDELBESTRAHLUNG
MIT PHOTONEN VON 42 MEV
PENDELWINKEL ±90°.
PENDELRADIUS : 120 cm
ACHSFELDGRÖSSE : 6 · 12



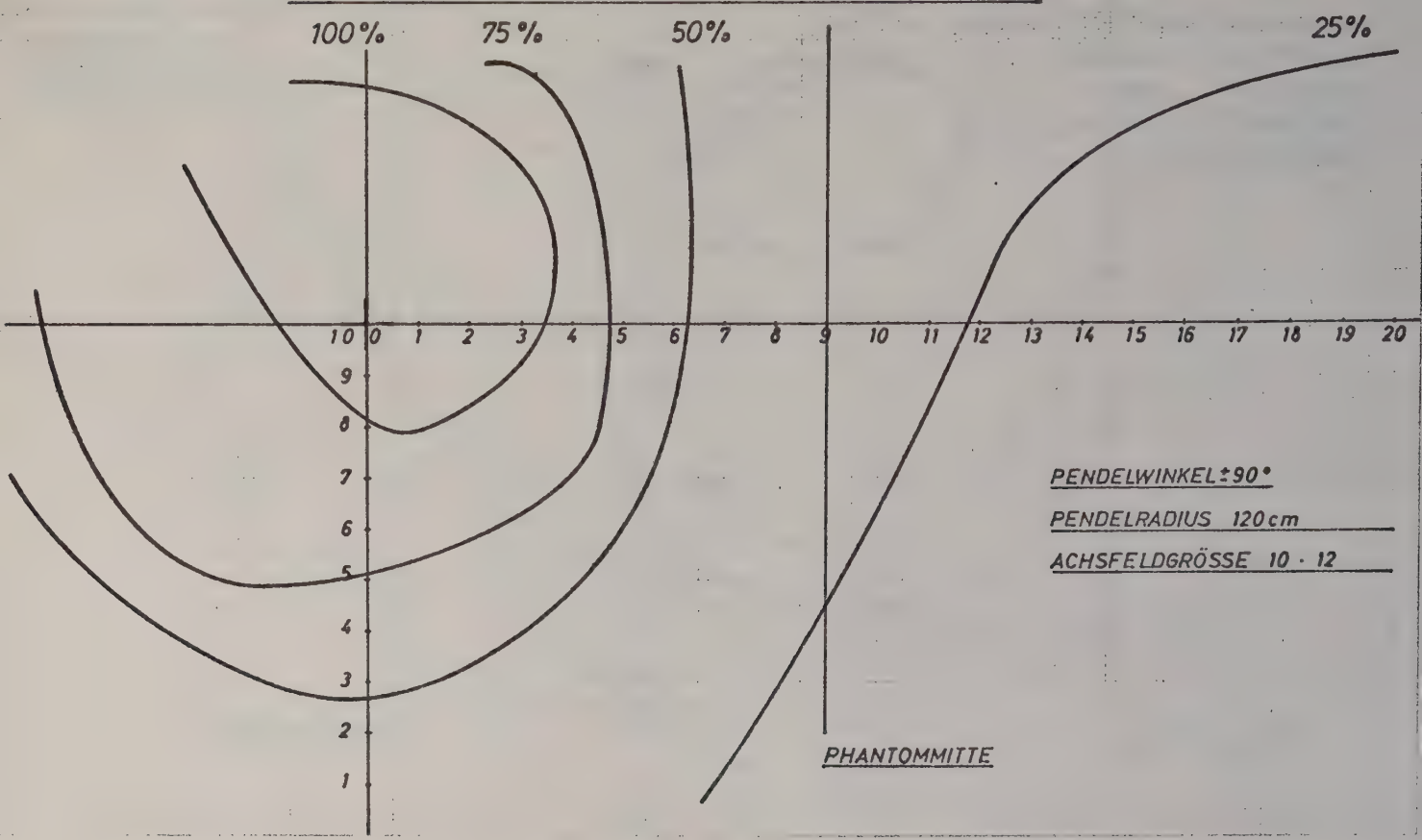
2. MESSUNG

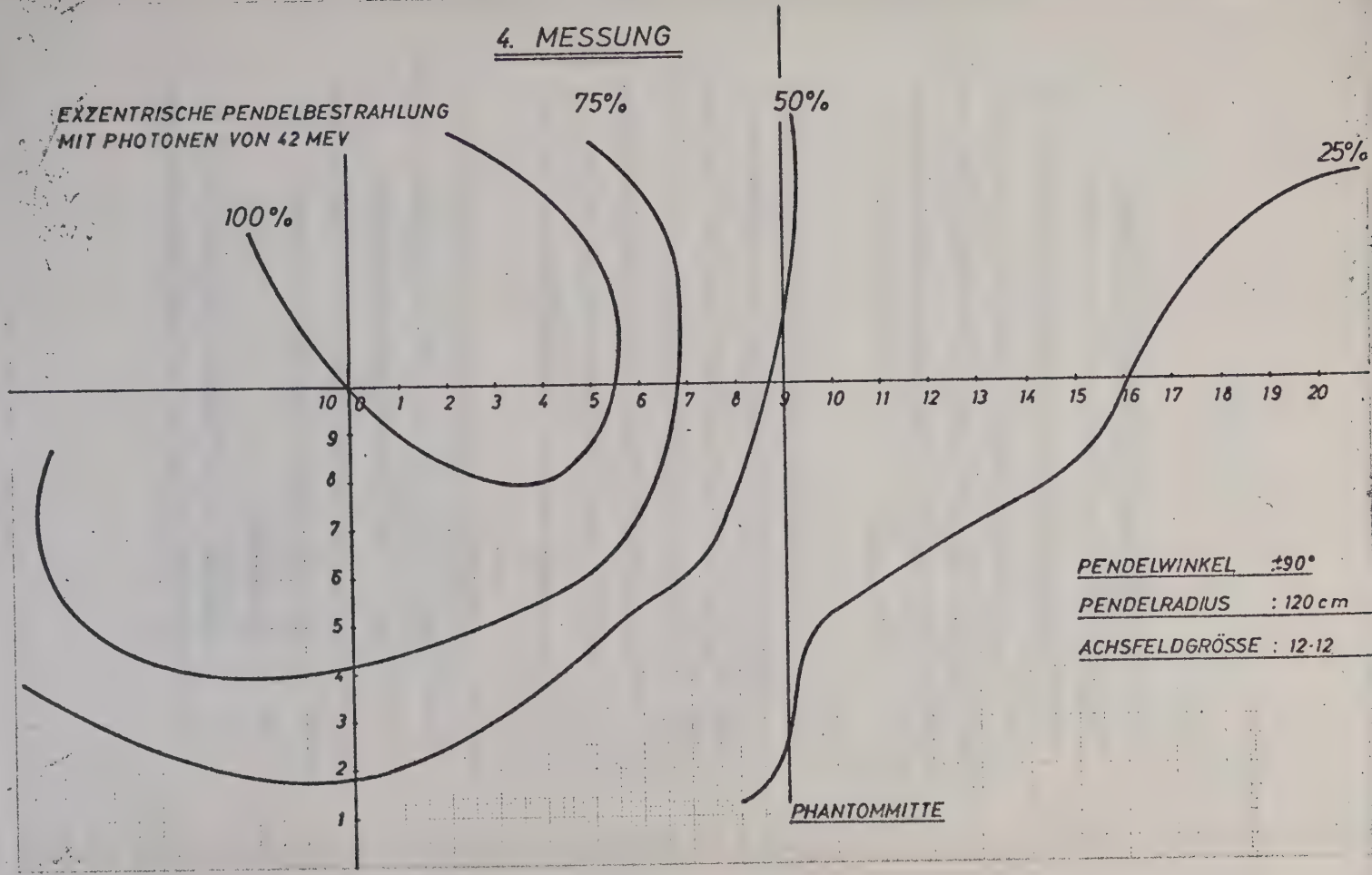
EXZENTRISCHE PENDELBESTRAHLUNG
MIT PHOTONEN VON 42 MEV
PENDELWINKEL : 90°
PENDELRADIUS : 120 cm
ACHSFELDGRÖSSE : 8 · 12



3. MESSUNG

EXZENTRISCHE PENDELBESTRAHLUNG MIT PHOTONEN VON 42 MEV




4. MESSUNG
EXZENTRISCHE PENDELBESTRAHLUNG
MIT PHOTONEN VON 42 MEV
100%
75%
50%
25%
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20
10 9 8 7 6 5 4 3 2 1
PENDELWINKEL ±90°
PENDELRADIUS : 120 cm
ACHSFELDGRÖSSE : 12·12
PHANTOMMITTE

Beschreibung und Diskussion der Kurven

Bezüglich der Lageverhältnisse der Isodosen ist es zweckmäßig, den Drehpunkt (in 10 cm Phantomtiefe und 9 cm lateral der Mittellinie des Phantoms) als Mittelpunkt eines Koordinatensystems festzulegen.

Die 100% Isodose der 1. Messung (Achsfeldgröße 6 x 12 cm) stellt sich als eine ellipsenförmig um den Drehpunkt gelegene Fläche dar. Das Ellipsenzentrum befindet sich etwa 0,4 cm lateral des Drehpunktes auf der x - Achse des Koordinatensystems. Der horizontale Durchmesser beträgt 4,9 cm, in kranio-kaudaler Ausdehnung mißt er 3,3 cm.

Auch die 100% Isodose der 2. Messung (Achsfeldgröße 8 x 12 cm) läßt sich als Ellipsoid bezeichnen. Es ist jedoch nach der Oberfläche des Phantoms zu ausgewandert und hat sein Zentrum etwa in 7,2 cm Phantomtiefe und 0,4 cm medial des Drehpunktes.
Schon bei der 3. Messung (Achsfeldgröße 10 x 12 cm) ist die 100% Isodose nicht mehr geschlossen.

Ihr Verlauf kann als annähernd hufeisenförmig beschrieben werden, wobei sich die Öffnung lateral und kranial des Drehpunktes, als Koordinatenmittelpunkt, befindet.
Die tiefste Ausdehnung dieser 100% Isodose liegt in 12,2 cm Phantomtiefe, 0,6 cm kaudal und medial des Drehpunktes.

Die 100% Isodose der 4. Messung (Achsfeldgröße 12 x 12 cm) lehnt sich formmäßig an die der 3. Messung an. Insgesamt gesehen, ist sie in ihrer Breitenausdehnung nach medial zur Phantommitte hin ausgewandert. Sie umschließt eine Fläche bis 5,5 cm medial des Drehpunktes und reicht bis in 12,1 cm Phantomtiefe.

Von den 75% Isodosen der 4 Meßreihen ist nur die 75% Isodose der 1. Messung geschlossen. Sie umschließt annähernd kreisförmig die Ellipse der 100% Isodose. Der medio-laterale Durchmesser ist, gegenüber dem kranio-kaudalen Durchmesser leicht abgeplattet. Das Zentrum dieser kreisähnlichen 75% Isodose liegt etwa 0,7 cm lateral des Drehpunktes auf der x-Achse des Koordinatensystems.

Die 75% Isodose der 2. Messung folgt kranial des Drehpunktes in ihrem Verlauf eng der 100% Isodose. In einer Entfernung von 3,8 cm medial des Drehpunktes schneidet sie die x-Achse, setzt sich dann in einem konkaven Bogen nach kaudal fort und unterquert die Pendelachse in 14,8 cm Phantomtiefe.

Die 75% Isodose der 3. Messung liegt in ihrer Hauptausdehnung kaudal des Drehpunktes. Ihre Form ähnelt in der Aufsicht einem Würfel. Von kraniomedial kommend, schneidet sie 4,7 cm medial des Drehpunktes die x-Achse, unterquert die Pendelachse in 14,9 cm Phantomtiefe und begibt sich lateral des Drehpunktes wieder nach kranial.

Bei der 75% Isodose der 4. Messung ist eine beträchtliche Ausweitung nach medial zur Phantommitte hin zu bemerken- Auch eine stärkere Auslenkung nach kaudal ist erkennbar.

Einen, der Form eines Handtellers ähnlichen Verlauf zeigt die 50% Isodose der 1. Messung.
Der größte Durchmesser dieser Isodosenkurve ver-

läuft von kranio-lateral nach medio-kaudal und beträgt 10,1 cm.

Die 100% und 75% Isodosen werden vollständig umschlossen. Das Zentrum der, von der 50% Isodose umgebenen Fläche, liegt etwa 0,8 cm lateral des Drehpunktes auf der x-Achse des Koordinatensystems.

Dem Verlauf der 75% Isodose der 2. Messung entspricht die Lage der 50% Isodose fast vollkommen. Sie ist nur um 1,2 cm weiter nach medial zur Phantommitte hin und um 1,3 cm weiter als die oben genannte nach kaudal gerückt.

Bei der 3. Messung ist eine weitere Verschiebung der 50% Isodose in Richtung der Phantommitte ersichtlich.
In einem konkaven Bogen umschließt sie die 100% und die 75% Isodose und begibt sich in 17,3 cm Phantomtiefe nach lateral.

Analog den Isodosenverläufen der Messungen 1, 2, 3, ist bei der 50% Isodose der 4. Messung auch eine Extinktion nach medial zur Phantommitte und

eine Verlagerung nach kaudal zu bemerken. Lediglich die 25% Isodose der 1. Messung bedarf einer zusätzlichen Diskussion. Es handelt sich um eine schöpfkellenähnlich verlaufende Isodose, die die kaudalen Anteile der 100%, 75% und 50% Isodosen umfaßt.

DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Messungen läßt sich ersehen, daß auch bei Anwendung einer Pendelbestrahlung mit Photonen einer kinetischen Energie von 42 MeV wie bei der konventionellen Strahlentherapie, bezüglich der Lage des Dosismaximums eine Abhängigkeit von der Achsfeldbreite besteht. Mit zunehmender Feldbreite bei Konstanthalten des Pendelwinkels (180°) wandert das Dosismaximum von der Drehachse zur Oberfläche hin aus. Eine Dosismassierung um die Pendelachse liegt nur bei einer Feldbreite von 6 cm vor. Desweiteren kann festgestellt werden, daß die 75 % Isodose in ihrer Ausdehnung praktisch der Achsfeldbreite entspricht.

Einen weiteren wichtigen Gesichtspunkt für eventuelle klinische Anwendung dieses Bestrahlungsmodus stellt der Verlauf der Isodosen in der achsenfernen Phantomhälfte dar.

Hierzu kann gesagt werden, daß bis zu Feldbreiten bis zu 6 cm, trotz voller Ausnutzung des maximal

möglichen Pendelwinkels von 180° und oben benannter exzentrischer Pendelachslage, die 25% Isodose die Phantommitte nicht überschreitet. Im Vergleich zu Kobalt 60 ergibt sich somit eine wesentlich günstigere Dosiskonzentrierung.
Zum Beispiel tritt bei Pendelbestrahlung mit Co 60 unter gleichen, wie oben aufgeführten Bedingungen bereits bei einer Achsfeldbreite von 8 cm eine Ausweitung der 50% Isodosen um 7 cm nach lateral bezogen auf den Drehpunkt auf, während sie bei 42 MeV-x-Strahlung nur 5 cm beträgt.

Insgesamt ließe sich als Schlußfolgerung für die Anwendung oben beschriebener exzentrischer Pendelbestrahlung mit Photonen die Konsequenz ziehen, daß nur eine Bestrahlung mit kleinem Achsfeld den klinischen Gegebenheiten Rechnung trägt, wobei sich jedoch eine maximale Dosismassierung auf den Herd erzielen läßt.

ZUSAMMENFASSUNG

An einem ovalen Plexiglas-Wasser-Phantom der Physikalisch-Technischen Werkstätten, Dr. Pyschlau KG, Freiburg im Breisgau, wurden systematische Untersuchungen zur exzentrischen Pendelbestrahlung mit Photonen einer Energie von 42 MeV am SIEMENS-BETATRON durchgeführt.

Die Drehachse befand sich in 10 cm Tiefe von der Phantomoberfläche und 9 cm lateral von der Phantommitte entfernt. Die Achsfeldgröße variierte von 6 x 12 cm, 8 x 12 cm, 10 x 12 cm, 12 x 12 cm.

Der Pendelwinkel betrug stets 180° (± 90° beidseits).

Die Isodosenverläufe wurden aufgezeichnet und diskutiert.

LITERATURVERZEICHNIS

1. BRAUN, E. und PETERSILKA, E.: Die 42 MeV Betatron-Anlage in der strahlentherapeutischen Anlage der allgemeinen Ortskrankenkasse Köln. Röntgenblätter 20 (1967): 189-194

2. EBERL, J.: Isodosen in der Bewegungsbestrahlung. Strahlentherapie 117 (1962): 300-315

3. GUND, K. und BERGER, H.: Die 15-MeV-Elektronenschleuder für medizinische Anwendung der SIEMENS-REINIGER Werke. Strahlentherapie 92 (1953): 489-505

4. GUND, K. und SCHITTENHELM, R.: Die physikalischen Eigenschaften der Strahlenbündel der 15 MeV-Elektronenschleuder der SIEMENS-REINIGER Werke. Strahlentherapie 92 (1953): 506-531

5. HEINZLER, F., HOHN, M. und MOHR, L.: Untersuchungen mit Ionisationskammern zur Bestimmung der Isodosen bei der Pendelbestrahlung mit ultraharten Röntgenstrahlen einer 15-MeV Elektronenschleuder-Betatron. Strahlentherapie 112 (1960): 619-628

6. HEINZLER, F.: Untersuchungen mit Ionisationskammern und Filmschwärzung zur Bestimmung der Isodosen bei der Pendelbestrahlung mit exzentrisch gelegener Pendelachse der ultraharten Röntgenstrahlung einer 17 MeV-Elektronenschleuder (Betatron). I. Schalenbestrahlung mit der 17 MeV Röntgenstrahlung. Strahlentherapie 128 (1965): 148-183

HEINZLER, F.: II. Mantelbestrahlung mit der 17 MeV Röntgenstrahlung. Strahlentherapie 128 (1965): 247-269

7. HEINZLER, F. und MOHR, L.: Untersuchungen mit Ionisationskammern zur Bestimmung der Isodosen bei der Pendelbestrahlung mit ultraharten Röntgenstrahlen einer 15 MeV-Elektronenschleuder-Betatron. III. Mitteilung: Untersuchungen am liegenden Phantom zur Erlangung eines größeren Bestrahlungsfeldes. Strahlentherapie 114 (1962): 103-112

8. HEINZLER, F. und MOHR, L.: Untersuchungen mit Ionisationskammern zur Bestimmung der Isodosen bei der Pendelbestrahlung mit ultraharten Röntgenstrahlen einer 15 MeV-Elektronenschleuder-Betatron. V. Mitteilung: Untersuchungen am liegenden Phantom zur Anwendung asymmetrischer Pendelwinkel. Strahlentherapie 114 (1962): 472-478

9. HEINZLER, F. und MOHR, L.: Untersuchungen mit Ionisationskammern zur Bestimmung der Isodosen bei der Pendelbestrahlung mit ultraharten Röntgenstrahlen einer 15 MeV-Elektronenschleuder-Betatron. VI. Mitteilung: Die Verteilung und Errechnung der Dosis für das Abdomen und den Thorax jugendlicher Patienten. Strahlentherapie 117 (1962): 452-462

10. HEINZLER, F. und MOHR, L.: Untersuchungen mit Ionisationskammern zur Bestimmung der Isodosen bei der Pendelbestrahlung mit ultraharten Röntgenstrahlen einer 15 MeV-Elektronenschleuder-Betatron. VII. Mitteilung: Zur Frage der Abhängigkeit der Isodosen von den verschiedenen Feldgrößen. Strahlentherapie 119 (1962): 378-388

11. HEUSS, K. und HOEFFKEN, W.: Zur Anwendung der Pendelbestrahlung mit schnellen Elektronen in der Tiefentherapie. Strahlentherapie 138 (1969): 40-49

12. JANKER, R. und RENNER, K. H.: Feldbegrenzung und Streustrahlung bei energiereichen Strahlen. Fortschr. Röntgenstr. 96 (1962): 545-550

13. KELLER, L. und DENTLER, H.: Dosismessungen zur Frage der Streustrahlung bei der Telekobalttherapie. Strahlentherapie 135 (1968): 409-411

14. KUTTIG, H.: Die Lage des Dosismaximums bei der Pendel- und Pendelkonvergenzbestrahlung. Strahlentherapie 102 (1957): 613-616

15. SCHERER, E.: Eine Einführung in die Strahlentherapie. Georg Thieme Verlag Stuttgart

16. SCHMIDT-HERMES, J. H.: Methode zur postoperativen Pendelbestrahlung des Mammacarcinoms unter Anwendung verschiedener Elektronenenergien. Strahlentherapie 139 (1970): 139-143

17. TSIEN, K. C., CUNNINGHAM, J. R., WRIGHT, D. J., JONES, D. E. A. und PFALZNER, P. M.: Atlas of Radiation Dose Distributions. Vol. III International Atomic Energy Agency Vienna 1967

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. med. F. Sommer für die freundliche Überlassung dieses Themas danken.

Herrn Oberarzt Dr. med. H. J. Schmidt-Hermes gilt mein Dank für seine überaus wertvollen Hinweise und Ratschläge bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

LEBENSLAUF

Am 13. 1. 1948 wurde ich, als Tochter des Arztes Dr. med. Herbert Kriegshäuser und seiner Ehefrau Dr. med. Gerda Kriegshäuser geb. Müller, in Landau/Pfalz geboren. Von 1954 bis 1958 besuchte ich die Pestalozzischule in Landau/Pfalz. 1958 wechselte ich in das Staatliche Altsprachliche Gymnasium über, wo ich im Sommer 1966 das Abitur ablegte. Das Studium der Medizin begann ich zum WS 66/67 an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken. Im WS 67/68 bestand ich hier das Vorphysikum. Nach weiteren drei Semestern absolvierte ich in Homburg/Saar die ärztliche Vorprüfung. Im Juli 1970 heiratete ich den Medizinalassistenten Wolfgang Wilhelm. Das medizinische Staatsexamen werde ich im SS 72 ablegen.